
Retrofit Mesin Milling Manual Z7632 Ke Sistim CNC Milling

¹⁾EriYuliusElvys, ²⁾DuddyArisandi

^{1), 2)} Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin Akademi Teknik Soroako

Email : ¹⁾eyels@ats-sorowako.ac.id, ²⁾duddy@ats-sorowako.ac.id

Abstrak

Kebutuhan akan mesin yang memiliki ketelitian tinggi banyak digunakan industry manufaktur. Mesin CNC (*Computer Numerical Controller*) mampu menghasilkan produk dengan kepresisian tinggi dalam waktu yang singkat, dibandingkan dengan mesin konvensional. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut mesin *milling* manual Z7632 dapat dikembangkan menjadi mesin *retrofit CNC milling* dengan sistim kontrol terbuka (*open loop control system*). Di Laboratorium Akademi Teknik Soroako (ATS) terdapat mesin *milling* Z7632 yang sudah tidak digunakan karena keakurasian gerakan sudah menurun. Hal itu diakibatkan kondisi *dovetail*, *wedge* dan *ulir transportir* pada sistim mekanis mesin sudah mengalami keausan sehingga menyebabkan *clearance* dan *backlash* yang besar. Secara konstruksi mesin tersebut masih sangat kuat, tetapi *backlash* dan *clearance* yang sudah besar sehingga tidak aman digunakan karena dapat membahayakan alat potong dan operator. Pilihan *retrofit* terhadap mesin manual menjadi mesin CNC merupakan *alternative* dengan biaya yang relatif lebih rendah. Proses yang dilakukan melalui penelitian ini adalah *retrofit* pada segi konstruksidan mekanikal mesin *milling* maupun segi kontrolnya. Segi mekanik diperlukan untuk menyesuaikan dengan kontrol yang baru. Segi kontrol disesuaikan dengan kontrol yang baru yang sudah disesuaikan dengan I/O yang sudah tersedia di mesin seperti mengatur parameter yang ada dan membuat *ladder diagram* untuk keperluan *interface*. Integrasi PC sebagai pengontrol pada mesin *retrofit milling* berfungsi menjalankan mesin sebagaimana mesin CNC pada umumnya. Mesin dapat dijalankan melalui *computer* dengan menggunakan *software mach 3* yang diinstallkan sebagai pengontrol untuk gerakan meja mesin

Kata kunci : System Control Terbuka, CNC, Retrofit

1. Pendahuluan

Mesin *milling* Z 7632 telah beroperasi selama 20 tahun yang digunakan untuk praktik Mahasiswa dan mengerjakan produk pesanan customer. Gesekan yang terjadi selama proses pemakaian mengakibatkan terjadinya keausan pada bagian slider mesin. Keausan pada slider mesin seperti *dovetail*, *wedge* dan *ulir transportir* pada sistim mekanis mesin menyebabkan *clearance* dan *backlash* yang besar sehingga menurunkan keakurasian gerakan. Akibatnya hasil pemesinannya sudah tidak dapat memenuhi standar yang diinginkan. Padasisi yang lain konstruksi mesin sendiri masih sangat kuat dan kokoh, tetapi *backlash* dan *clearance* yang sudah besar menyebabkan mesin tidak aman (safe) digunakan karena dapat membahayakan alat potong dan operator.



Gambar 1. Mesin Milling Manual Z7632

Konstruksi mesin yang masih baik dan kuat ini dapat digunakan dan dikembangkan menjadi mesin CNC dengan cara melakukan metode retrofit. Slider mesin yang mengalami keausan didesain untuk digantikan dengan linear guideway dan gendak listrik diganti dengan sistem kontroler CNC. Gambar 1 menunjukkan mesin milling Z7632 yang pengoperasiannya dilakukan secara manual. Jenis mesin ini adalah mesin milling vertikal yang sumbu utamanya tegak lurus dengan tipe kolom menurut konstruksi kedudukan meja. Spesifikasi mesin ditunjukkan pada tabel 1 di bawah:

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Milling Manual Z7632

Nama	Spesifikasi
Tipe konstruksi mesin	vertical fixed bed type
Dimensi mesin	1276 x 1205 x 2000 (mm)
Travel X,Y,Z	450,200,320 (mm)
Dimensi Meja	820 x 240 (mm)
Range of power feed	9.44 – 40,58 mm/menit

Range of spindle speeds	112 – 1800 rpm
Milling Cutter head diameter	diameter 75 mm
Lead Screw	Trapezium screw, lead 6 mm
Drilling Capacity	32 mm
Tapping Capacity	M16
Boring Capacity	80 mm
Motor Spindle	Motor Y90L-4 AC 1,5 Kw, 1500 rpm
Net Weight	560 kg

2. LandasanTeori

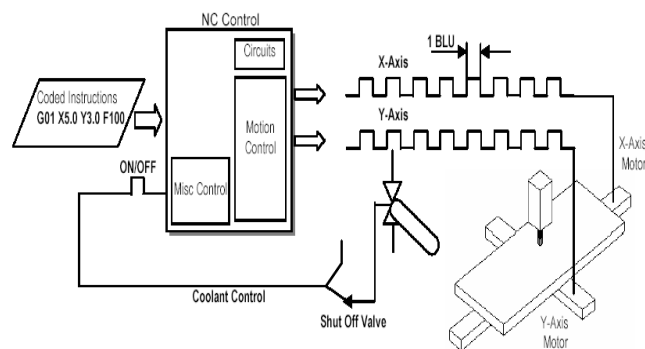
Upaya pengembangan mesin perkakas CNC di Indonesia telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Metode *retrofit* lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan pengadaan mesin perkakas CNC pada industry manufaktur berskala kecil dan menengah. [1]Herliansyah, 2002, mengembangkan *prototype low-cost CNC retrofit milling system*, dan dapat berfungsi seperti halnya mesin perkakas CNC dengan akurasi sumbu X sebesar 0,013 mm dan sumbu Y sebesar 0,009 mm. Sistem tersebut mampu melakukan gerakan pemotongan linear, interpolasi linear, dan kurva dua dimensi (*arc*, *curve*, ataupun *circular*) dengan kecepatan antara 1 mm/menit hingga 250 mm/menit sesuai dengan jenis material yang dikerjakan. Secara keseluruhan, performansi sistem yang dihasilkan berada diantara mesin *milling CNC* dan mesin *milling* manual yang dilengkapi dengan *DRO (Digital Read Out)*. [2] Hanggara, 2011, dalam risetnya memodifikasi mesin bubut CNC EMCO Compact 5 PC untuk pengembangan *PC-based CNC* dari yang semula “*underDOS*” menjadi “*under Windows*”. Dengan modifikasi yang dilakukan maka mesin CNC tersebut dapat dikendalikan melalui PC. Riset ini dilanjutkan oleh Karnadhi, 2012, dengan mengembangkan penggunaan *software* Artsoft Mach3 sebagai *CNCController* pada mesin tersebut dan diintegrasikan dengan *software* CAD/CAM yaitu Mastercam V9. Dalam riset ini juga dilakukan pengujian konfigurasi Mach3 untuk memperoleh ketelitian tertinggi yang dapat dicapai. Hasil pengukuran menunjukkan ketelitian benda kerja berkisar antara 0.02 mm-0.03 mm, dengan rata-rata kualitas toleransi diameter sesuai standar ISO/R286 yaitu IT 8. [3]Saputra dkk., 2011, membuat makalah yang membahas tentang desain sistem kendali *router* berbasis *Computer Numerical Control (CNC)* menggunakan *personal computer (PC)*, untuk diimplementasikan di *flame cutting machine (FCM)*. *NC-Code* yang diinputkan ke komputer diterjemahkan menjadi sinyal perintah yang dikirimkan PC ke *microcontroller* untuk mengendalikan gerakan *end effector* mesin pada sumbu X dan sumbu Y secara simultan berdasarkan hasil perhitungan interpolasi linier dan interpolasi sirkular pada PC. Sistem kendali ini diimplementasikan pada FCM dengan menghubungkan *output* kendali dari *microcontroller* dengan *driver* aktuator FCM berupa motor DC. Hasil yang diperoleh berupa suatu prototipe sistem kendali *router CNC* untuk diimplementasikan di FCM dan mampu melakukan interpolasi linier dan interpolasi sirkular.

3. Prinsip Kerja Mesin

Mesin perkakas *CNC (Computerized Numerical Control)* adalah jenis mesin perkakas yang menggunakan sistem kontrol *CNC*, yaitu suatu system kontrol dengan perintah berupa kode numerik yang digunakan untuk mengendalikan fungsi mesin perkakas tersebut. Kode numerik yang digunakan sebagai perintah terdiri dari kode huruf dan angka serta kode karakter tertentu yang memiliki arti yang spesifik dan disusun secara sistematis mengikuti format yang ditetapkan.

NC (*Numerical Control*)

[4] Merupakan teknik untuk mengatur peralatan permesinan atau proses dengan menggunakan kode-kode perintah. Sistem NC akan menterjemahkan semua instruksi kedalam dua macam signal kendali, yaitu: signal pengendali gerakan (*moving command*) dan signal pengendalilainnya (*auxiliary command*),



Gambar 2.Sistem CNC

Signal pengendali gerakan adalah sekumpulan pulsa elektrik yang dibangkitkan dengan tujuan untuk mengendalikan posisi dan kecepatan meja kerjadan spindle mesin perkakas NC. Setiap pulsa akan menghasilkan gerakan sebesar 1 satuan panjang dasar (*Basic Length Unit*, BLU) yang merupakan kenaikan minimum system pengendali NC. Perbandingan antara panjang gerak kandasar yang dapat ditempuh dengan jumlah pulsa yang dikirimkan kedalam sistem NC disebut dengan resolusi mesin. Besarnya resolusi untuk setiap mesin NC berbeda-beda dipengaruhi oleh jenis system penggerak yang digunakan dan system transmisi mekanik yang terdapat pada mesin tersebut.

Resolusi mesin NC tersebut mempengaruhi ketelitian gerakan yang dapat dicapai oleh sistem tersebut. Mesin-mesin NC lama memiliki resolusi sebesar 0.001 in/pulsa, sedangkan resolusi mesin-mesin NC generasi baru mencapai 0.0001 in/pulsa. Signal pengendali lainnya membangkitkan signal ON/OFF yang digunakan untuk melakukan pengendalian kecepatan, arah putaran spindle, suplay cairan pendingin kedalam sistem NC, penggantian alat iris, proses pengecaman, dan lain sebagainya.

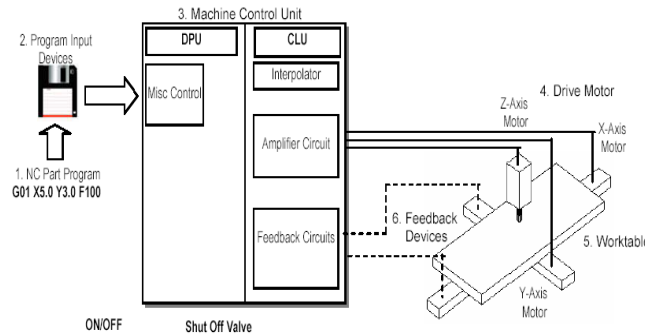
CNC (*Computer Numerical Control*)

Sistem CNC merupakan perangkat sistem NC yang memiliki bagian untuk menyimpan program komputer, dan dibangun dalam sistem NC tersebut. Program yang tersimpan dalam memori sistem tersebut digunakan untuk melakukan pengendalian proses dasar NC dan menjalankan fungsi-fungsi dalam sistem NC. Kebanyakan fungsi kendali dalam CNC diimplementasikan oleh program perangkat lunak pengendali (*software based NC*). Signal pengendali dari CNC dinyatakan dalam bentuk kumpulan kode-kode biner (*binary word*),

dan biasanya dalam ukuran 32 hingga 64 bit. Setiap bit menghasilkan gerakan pada sumbu kendali gerakan sebesar 1 BLU.

Elemen Sistem CNC

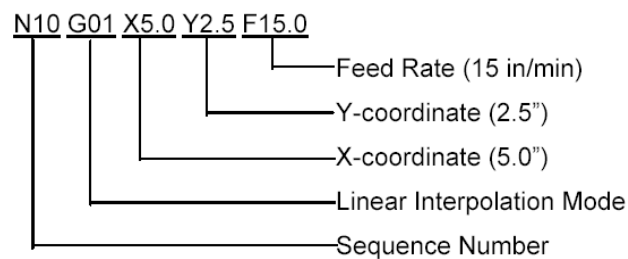
Pada dasarnya sebuah sistem CNC terdiri atas 6 elemen sebagai berikut:



Gambar 3. elemen CNC

a. Program part (NC part program)

Elemen ini merupakan kode instruksi yang diperlukan untuk memproduksi part. Program ini mengendalikan pergerakan mesin dan mengendalikan ON/OFF dari fungsi-fungsi lainnya, seperti rotasi spindle, pengaturan keluarnya cairan pendingin, dan lain sebagainya. Kode instruksi ini dibentuk dari sekelompok huruf, angka, dan simbol-simbol, dan dituliskan dalam urutan blok tertentu.



Gambar 4. kode instruksi

b. Perangkat input program

Elemen ini merupakan mekanisme untuk memasukkan program (NC Part Program) ke dalam mesin pengendali CNC. Sejumlah perangkat yang sering digunakan adalah: punch tape reader, disket, magnetic tape reader dan komputer dengan komunikasi melalui RS-232C

c. Unit pengendali mesin (Machine Control Unit, MCU)

Machine Control Unit merupakan inti/jantung dari sebuah sistem CNC. Elemen ini digunakan untuk melaksanakan sejumlah fungsi berikut: Membaca kode instruksi, Menterjemahkan kode instruksi, Menerapkan pola interpolasi (linear, circular, ataupun helical) untuk menghasilkan perintah gerakan sumbu mesin, Mengirimkan perintah gerakan sumbu mesin ke sirkuit penguat untuk mengendalikan pergerakan setiap sumbu mesin, Menerima signal umpan balik posisi dan kecepatan dari setiap sumbu mesin dan Melakukan pengendalian terhadap fungsi-fungsi selain fungsi gerakan seperti pengaturan keluarnya cairan pendingin, pergantian pahat, mengatur perputaran spindle dan lain sebagainya

d. Sistem penggerak (Drive system)

Sistem penggerak tersusun atas sirkuit penguat, motor penggerak, dan sistem transmisi mekanik yang pada sistem NC biasanya menggunakan ball-screw. MCU akan memberikan signal pengendali ke setiap sumbu mesin melalui sirkuit penguat, selanjutnya signal tersebut

akan menggerakkan atau mengaktifkan motor penggerak yang akan memutar ball-screw untuk memposisikan meja kerja.

e. Peralatan permesinan

Pengendali CNC digunakan untuk mengendalikan berbagai tipe perangkat pemesian (mesin perkakas). Apapun jenis mesin perkakas tersebut, pada dasarnya selalu memiliki slide table dan spindle untuk mengendalikan posisi serta kecepatannya. Pergerakan meja kerja pada mesin perkakas biasanya dinyatakan sebagai pergerakan pada sumbu X dan Y, sedangkan pergerakan spindle atau alat iris biasanya dinyatakan sebagai pergerakan sumbu Z mesin perkakas tersebut.

f. Sistem umpan balik.

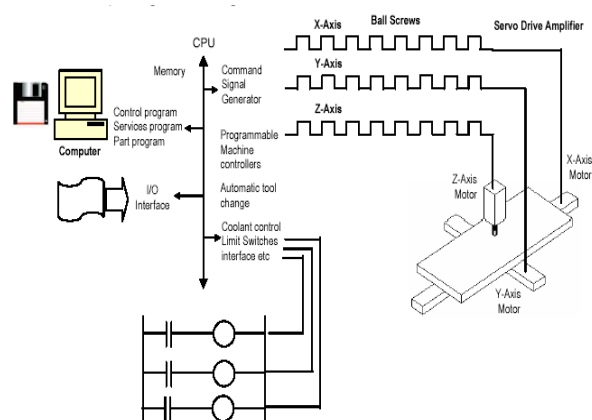
Sistem umpan balik pada sebuah sistem NC sering pula disebut sebagai sistem pengukuran (measurement system). Sistem ini tersusun dari sejumlah transducer posisi dan kecepatan untuk memonitor posisi alat potong pada setiap saat. MCU pada sistem CNC menggunakan perbedaan antara signal referensi dan signal umpan balik untuk menghasilkan signal pengendali yang digunakan untuk melakukan koreksi kesalahan posisi dan kecepatan gerakan mesin perkakas.

SISTEM KENDALI CNC

Sistem kendali CNC dapat berbentuk siklus terbuka ataupun siklus tertutup. Perbedaannya terletak pada adanya sistem umpan balik pada siklus tertutup.

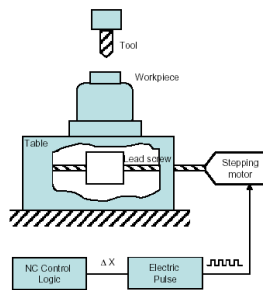
Sistem Siklus Terbuka

Dalam sistem ini tidak terdapat proses umpan balik. Motor akan bekerja sesuai perintah dari MCU, sistem akan mengasumsikan bahwa meja kerja akan mencapai posisi yang telah ditentukan. Sistem terbuka ini sangat sensitif terhadap tahanan beban yang besar, karena dapat mengubah posisi dan kecepatan yang telah ditetapkan. Sistem ini biasanya diterapkan dalam sistem PTP, bisa juga dalam mesin potong beban ringan.



Gambar 5. sistem open loop

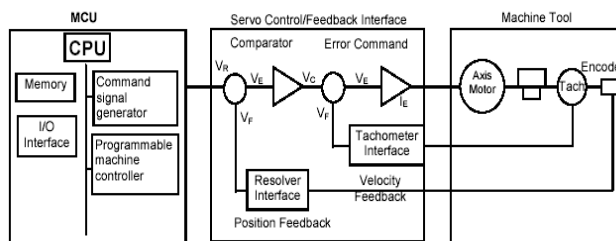
Pada gambar 5 menunjukkan controller digunakan sebagai on line prosesor dari program dan data agar dapat melaksanakan perintah spesifik untuk manipulasi mesin dan proses aktuator. Prinsip open loop juga berupaya menggunakan computer sebagai manipulasi elektrik atau motor stepper untuk pengontrolan mesin perkakas



Gambar 6.mekanisme system open loop

Sistem Siklus Tertutup

Dalam sistem ini terdapat sub sistem umpan balik yang berfungsi memonitor hasil keluaran sebenarnya dan mengoreksi setiap ketidak sesuaian yang terjadi antara kenyataan dan hasil yang diinginkan. Sistem umpan balik ini bisa berupa sistem analog ataupun sistem digital. Sistem analog akan mengukur variasi dari sistem fisik seperti posisi, kecepatan dalam level tegangan. Tachometer biasanya dipakai untuk mengukur tegangan dan resolver untuk mengukur posisi. Terdapat dua macam umpan balik dalam sistem CNC, yaitu siklus posisi dan siklus kecepatan. Siklus posisi merupakan siklus luar yang terdiri dari pembandingan, sirkuit penguat. Siklus kecepatan, resolver dan antarmuka resolver. Dalam operasinya, pembandingan menerima signal dari pengendali CNC dan signal dari umpan balik posisi dari resolver, selisih dari dua signal ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian dan posisi sebenarnya. Komparator kemudian akan menghasilkan signal posisi salah dan mengirimkan signal ini pada penguat untuk menggerakkan motor servo untuk mengoreksi kesalahan yang timbul. Siklus kecepatan merupakan sub siklus dari siklus posisi, dan terdiri dari pembandingan. Sirkuit penguat, tachometer yang dipasang pada lead screw ataupun motor servo dan antar muka tachometer.

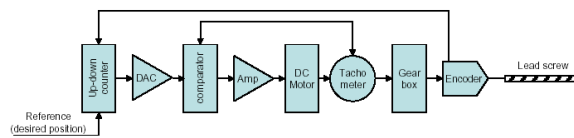


Gambar 7.sistem umpan balik pada close loop

Sistem digital menggunakan transducer posisi digital untuk mengukur posisi. Encoders merupakan transducers posisi digital yang banyak dikenal. *Up-down counter* dan DAC digunakan dalam posisi sebagai pembandingan dan penguat. Sedangkan siklus kecepatan adalah sama dengan yang ditemukan dalam sistem analog.

Mekanisme Kontrol Close Loop

Mekanisme untuk melakukan tindakan koreksi yang membandingkan hasil data aktual dengan hasil data yang diharapkan. Gambar 8 menunjukkan sistem pengendalian dimana pengontrol ditempatkan pada control loop dengan mengumpulkan data dari sensor proses, menerima status referensi yang diharapkan (set point) dari operator, dan control loop diakhiri dengan perintah manipulasi yang menyebabkan perubahan spesifik dalam output proses.



Gambar8.Mekanisme system close loop

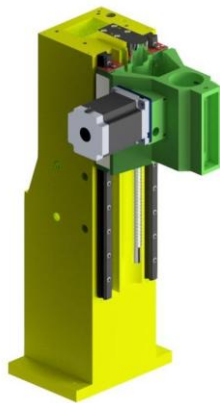
4. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yang meliputi proses desain pada konstruksi mesin untuk penggantian dan pemasangan liner bearing dan ball screw. Proses selanjutnya adalah manufaktur komponen mesin milling untuk kebutuhan dudukan komponen-komponen yang diperlukan. Tahapan selanjutnya adalah instalasi komponen kontroler pada MCU dan integrasi dengan PC.

5. Pembahasan

Desain Konstruksi Mesin

Column merupakan bagian terpenting dari mesin milling pada sumbu Z, karena merupakan jalur lintasan housing spindle.[6] Modifikasi yang dilakukan pada column yaitu memfrais dan meratakan bagian *dove tail* menjadi dudukan linear bearing seperti ditunjukkan pada 10.



Gambar 10 Desain Column dan Spindle

Dimensi dudukan *linear bearing* pada konstruksi mesin disesuaikan dengan standar part yang cocok dengan kapasitas mesin.[7] *Linear bearing* merupakan pengarah yang berfungsi seperti *bearing* untuk gerakan *linear* dengan *sliding block* yang meluncur diatas *rail* presisi dengan *zero clearance* yang digunakan untuk mesin-mesin dengan ketelitian dan ketepatan tinggi dengan desain yang kokoh, cocok untuk beban yang tinggi. Pada jenis mesin ini dipilih *linear bearing* dengan model *block V* seperti pada gambar 11 dibawah.



Gambar 11. Linear guide

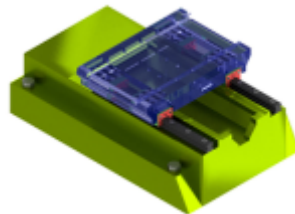
Ulir trapezium yang merupakan transporter ataupun penggerak mesin dengan ulir bola (ball screw). Gambar 12 dibawah adalah Ulir

bola memiliki fungsi sama dengan ulir lainnya, hanya pada ulir ini dalam memindahkan daya atau putaran, gesekan yang timbul sangat kecil. Hal ini disebabkan karena bola-bola yang bergerak, tidak bergesekan dengan alur yang terdapat pada batang ulir dan ini merupakan kelebihan dari ulir bola.



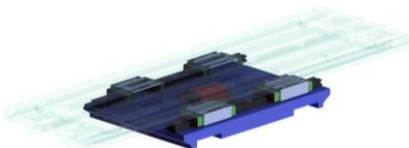
Gambar 5 Ball screw

Meja mesin merupakan tumpuan utamadari kedua mejadiatas. Meja sumbu Y yaitu pergerakan meja terhadap sumbu Y. bagian yang akan di desain yaitu dudukan *linear block* dan dudukan *ball screw*. Mendesain meja sumbu Y hamper sama prosesnya dengan mendesain housing spindle yaitu dengan tidak merubah tinggi dari mejatersebut. Meja kemudian difrais pada bagian dudukan *linearblock* sesuai dengan dimensi dari linear block yang digunakan seperti ditunjukan pada gambar 12 dibawah.



Gambar 12.Desain Dudukan Meja Y-Axis

Meja sumbu X merupakan lintasan terpanjang dalam desain permukaan dimana pada bagian bawah merupakan dudukan *linear bearing* dan *ball screw*. Kesejajaran dan ketegaklurusan terhadap gerakan Y-axis maupun Z-axis dipengaruhi oleh hasil desain dan proses pemesinan. Gambar 13 dibawah menunjukan desain meja Y-axis yang mensupportmeja X-axis.Ketika pemasangan linear guide terjadi pergeseran maka akan mempengaruhi pergerakan dan berefek kepada keakurasian pergerakan.

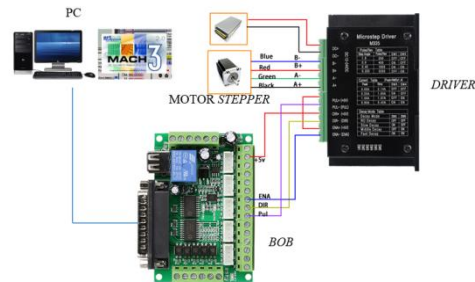


Gambar 13 Desainmeja x-axis

InstalasiMachine Control Unit (MCU)

Breakout Board (BOB) adalah *card electronic* yang berfungsi menghubungkan sinyal data dari Komputer dengan *peripheral input* maupun *output*. [8] *BOB* merupakan komponen utama yang digunakan untuk merakit mesin CNC, menghubungkan sinyal data dari Komputer menuju *driver* atau *relay*,serta menghubungkan sinyal *input* dari luar untuk bisa dibaca komputer.Setelah proses manufaktur dan tahap perakitan komponen mesin selesai,

tahap perakitan selanjutnya adalah perakitan kelistrikan. Sistem penggerak utama mesin (Z-Axis) berupa motor *Stepper*. Gambar14 adalah *wiring diagram controller* mesin.



Gambar 14.wiringsistim

Integrasi PC sebagaiPengontrol

[5] Retrofit mesin *milling manual* kesisten *CNC Milling* adalah dengan menambahkan dan mengganti sistem kontrol electric menjadi sistem kontrol berbasis PC. Penggabungan konstruksi dengan *driver* melalui instalasi rangkaian yang dihubungkan ke-3 *motor stepper* penggerak *axis X, Y, Z*, dan 1 *motor servo* penggerak *spindle*. Gerakan mesin dapat dikendalikan melalui *software Art soft Mach3* yang diinstallkan dalam komputer dan dihubungkan dengan *port USB*.

6. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan hal sebagai berikut :

1. Penelitian ini menghasilkan *retrofit* mesin *milling* manual Z7632 ke sistim *CNC milling* menggunakan sistim kontrol terbuka (*Open loop control system*), ketelitian sistim gerakan pada konstruksi mesin dapat ditingkat dengan pemasangan *dovetail* dengan *linear bearing*.
2. Integrasi *PC* sebagai pengontrol pada mesin *retrofit millin* berfungsi menjalankan mesin sebagaimana mesin *CNC* pada umumnya. Mesin dapat dijalankan melalui *computer* dengan menggunakan *software mach 3* yang diinstallkan sebagai pengontrol untuk gerakan meja mesin.

Daftar Pustaka

- [1] M.K. Herliansyah, *Pengembangan CNC Retrofit Milling untuk Meningkatkan Kemampuan Mesin Milling Manual Dalam Pemesinan Bentuk-bentuk Kompleks*, 2005 Journal Forum Teknik Vol. 29, No.1, Januari 2005
- [2] Hanggara, R., *Modifikasi Emco Compact 5 PC Untuk Pengembangan PC Based CNC*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2011.
- [3] Hendaryanto dan Ismail, *Retrofit Mesin Bubut Di Laboratorium Teknologi Mekanik Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada*, Laporan Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.
- [4] Suh, S.H., Kang, S.K., Chung, D.H. and Stroud, I., *Theory and Design of CNC System (Springer Series in Advanced Manufacturing)*, Springer-Verlag, London, 2008.

-
- [5] Hendaryanyo, Ignatius Aris. 2013. *Identifikasi, Pemodelan dan Kompensasi Ketidakteletitan Open Loop Control System pada Mesin Milling CNC Mini*. Thesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- [6] Arisandi, Duddy. *Modul Teori Alignment*. Politeknik Manufaktur Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [7] Wijaya, Aan., Aryan, Albhino., dan Arief. 2016. *Laporan Tugas Akhir Optimalisasi Keakuratan Pergerakan Prototype Mesin Milling CNC 3-Axis*. Sorowako : Akademi Teknik Soroako.
- [8] Yunawan, Astriani., Jumadi., Sofyan, Fikar Ardiansyah., dkk. 2014 *Laporan Tugas Akhir Rancang Bangun Konstruksi Mesin CNC Milling Mini 3 – Axis*. Sorowako : Akademi Teknik Soroako.